

全国普通高等院校**土木工程类**
实用创新型系列规划教材

土质学与 土力学

张钦喜 主 编
李 萍 赵党书 副主编



科学出版社
www.sciencep.com

中国科学院教材建设专家委员会教材建设立项项目
全国普通高等院校土木工程类**实用创新型**系列规划教材



土质学与土力学

张钦喜 主编
李萍 赵党书 副主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了土质学与土力学的基本概念、基本原理和土工问题的分析计算方法,内容包括土的物理性质和工程分类、土粒骨架与水溶液的相互作用、土中水的运动规律、土中应力计算、地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力理论、土坡稳定分析、地基承载力、土在动荷载作用下的力学性质。全书共10章,每章均附有较全面、详细的例题以及习题和思考题。

本书主要作为高等学校土木工程专业的教学用书,也可供其他专业师生及科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土质学与土力学/张钦喜主编. —北京:科学出版社,2005
(全国普通高等院校土木工程类实用创新型系列规划教材)
ISBN 7-03-015921-7

I. 土… II. 张… III. ①土质学-高等学校-教材②土质学-高等学校-教材 N. ①P642.1②TU43

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第078218号

责任编辑:童安齐 何舒民 / 责任校对:耿 耘
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

信海彩色印装有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年9月第一版 开本:787×1092 1/16

2005年9月第一次印刷 印张:20

印数:1—3 000 字数:430 000

定价:28.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026(HA03)

全国普通高等院校土木工程类实用创新型 系列规划教材

编 委 会

主 任 霍 达

副主任 (按姓氏笔画排序)

周 云 阎兴华 童安齐

秘书长 张志清

委 员 (按姓氏笔画排序)

白晓红 石振武 刘继明 何浙浙 何舒民

张文福 张延庆 张志清 沈 建 周 云

周亦唐 宗 兰 徐向荣 阎兴华 翁维素

傅传国 程赫明 韩建平 童安齐 雷宏刚

霍 达

前 言

本书根据土木工程专业本科生的培养目标和培养规格的要求,为适应 21 世纪人才培养的需要而编写。

“土质学与土力学”是土木工程专业一门重要的技术基础课,在土木工程专业的人才培养中起着十分重要的作用,同时它又是一门实践性很强的学科。特别是近 20 多年以来,随着我国道路交通事业的大发展以及土力学计算理论和工程实践的不断深入,土质学与土力学的分析计算理论与应用技术发展越来越快,相应涉及的范围越来越广,积累了许多宝贵的资料。

1925 年美国土力学家太沙基(Terzaghi)发表第一部土力学专著,使土力学成为一门独立的学科。其后,由于世界各地工程建设的推动,土力学发展迅速,其相关资料浩瀚。本书作为大学本科的系列教材之一,不宜包罗万象,而应选用那些成熟的理论与典型的经验,使其内容少而精。同时考虑到为使学生开阔视野、掌握本学科发展等要求,书中结合相关内容简要介绍了实际工程的应用现状和发展前景。

本书在编写过程中力图做到叙述简明、重点突出、文字简练、便于自学,并密切联系工程实际,适当反映近代土质学与土力学的新成果。本书各章编写分工如下:绪论、第五章、第十章由北京工业大学张钦喜编写;第一章、第九章由昆明理工大学赵党书编写;第二至四章、第八章由兰州理工大学李萍编写;第六章、第七章由北京工业大学高华东编写。本书由张钦喜统稿。

为便于读者复习和练习,书中各章均附有思考题与习题。

在统稿过程中,研究生朱绪平、潘旭亮协助主编做了大量的文字和图件处理工作,在此特向他们表示感谢。

编者还特别要向兵器工业部勘察设计院总工程师、教授级高级工程师化建新教授表示感谢,他在百忙之中对本书原稿进行了仔细认真的审查,提出了许多宝贵的意见和建议,对提高本书的质量和水平起到积极的作用。

由于编者水平有限,加上时间较为仓促,书中不足和疏漏之处在所难免,恳请读者不吝赐教,批评指正。

目 录

前言

绪论	1
0.1 土质学与土力学的研究对象及本课程与专业的关系	1
0.2 土质学与土力学的概念及发展简史	1
0.3 土质学与土力学的学习内容	2
0.4 两个典型案例	3
第一章 土的物理性质和工程分类	5
1.1 土的形成与特性	5
1.1.1 土的形成	5
1.1.2 土的特性	5
1.2 土的物质成分	6
1.2.1 土中固体颗粒	6
1.2.2 土中水	11
1.2.3 土中气	13
1.3 土的结构与构造	13
1.3.1 土的结构	13
1.3.2 土的构造	15
1.4 土的三相比例指标	15
1.4.1 土的实测指标	15
1.4.2 土的换算物理指标	17
1.4.3 基本物理性质指标间的相互关系	20
1.5 土的物理状态	23
1.5.1 无黏性土的物理状态	23
1.5.2 黏性土的物理状态	26
1.6 土的工程分类	30
1.6.1 土工程分类的原则	30
1.6.2 建筑工程中地基土的分类方法	31
1.6.3 公路桥涵地基土的分类	35
1.6.4 公路路基土的分类	36
1.6.5 细粒土按塑性图进行细分	39
思考题与习题	40
第二章 土粒骨架与水溶液的相互作用	42
2.1 黏粒表面的电化学力	42

2.1.1	黏粒的表面特性	42
2.1.2	离子交换	45
2.2	土粒骨架与水溶液的双电层理论	45
2.2.1	双电层的概念	46
2.2.2	影响双电层厚度的因素	47
2.3	黏粒之间的相互作用	48
2.4	黏粒与水的相互作用对土的性质影响	50
2.4.1	土的黏性	50
2.4.2	对黏性土可塑性的影响	51
2.4.3	触变性	53
2.4.4	黏性土的胀缩性	54
2.4.5	对强度和压缩性的影响	56
	思考题与习题	56
第三章	土中水的运动规律	57
3.1	土的毛细性	57
3.1.1	土层中的毛细水带	57
3.1.2	毛细水上升高度和上升速度	58
3.1.3	毛细压力	60
3.2	土的渗透性	60
3.2.1	渗流模型	60
3.2.2	土的层流渗透定律	61
3.2.3	土的渗透系数	62
3.2.4	影响土的渗透性的因素	67
3.2.5	动水压力及流沙现象	68
3.3	土的冻胀性	71
3.3.1	冻土现象及其对工程的危害	71
3.3.2	冻胀的机理与影响因素	72
3.3.3	冻结深度	73
	思考题与习题	73
第四章	土中应力计算	75
4.1	概述	75
4.1.1	土的应力-应变关系	75
4.1.2	地基中的几种应力状态	76
4.2	土的自重应力	78
4.2.1	竖向自重应力	78
4.2.2	水平向自重应力	79
4.2.3	土坝的自重应力	80
4.2.4	地下水位升降及填土对土中自重应力的影响	82

4.3	基底压力与基底附加应力	83
4.3.1	基底接触压力的实际分布	83
4.3.2	基底接触压力的简化计算	84
4.3.3	基础底面附加压力	87
4.4	附加应力计算	87
4.4.1	布辛奈斯克解	88
4.4.2	空间问题	91
4.4.3	平面问题	103
4.4.4	附加应力计算的其他情况	108
	思考题与习题	113
第五章	土的压缩性与地基沉降计算	115
5.1	概述	115
5.2	土的压缩性试验及压缩性指标	115
5.2.1	室内侧限压缩试验及压缩性指标	115
5.2.2	现场载荷试验及变形模量	118
5.2.3	压缩模量与变形模量的关系	120
5.2.4	土的卸荷再加荷性状	121
5.2.5	土的前期固结压力与土的应力历史	122
5.2.6	原位压缩 $e-\lg p$ 曲线及有关指标	123
5.2.7	弹性模量及试验测定	124
5.3	地基最终沉降量的计算	125
5.3.1	弹性理论法计算沉降	125
5.3.2	分层总和法计算最终沉降	127
5.3.3	建筑地基基础设计规范法计算最终沉降	131
5.3.4	用原位压缩曲线计算最终沉降	135
5.4	地基沉降与时间的关系	137
5.4.1	饱和土的渗流固结	138
5.4.2	太沙基一维渗流固结理论	139
5.4.3	固结度	141
5.5	利用沉降观测资料推算后期沉降与时间的关系	145
5.5.1	对数曲线法	145
5.5.2	双曲线法	146
5.6	饱和黏性土地基沉降的三个阶段	146
	思考题与习题	148
第六章	土的抗剪强度	151
6.1	概述	151
6.2	土的库仑定律	152
6.2.1	土体中任一点的应力状态	152

6.2.2	土的库仑定律	154
6.3	土的莫尔-库仑强度理论	157
6.3.1	土的莫尔-库仑强度理论	157
6.3.2	莫尔-库仑破坏准则——土的极限平衡条件	158
6.3.3	土的极限平衡条件的应用	162
6.4	土的抗剪强度指标的测定	163
6.4.1	直接剪切试验	164
6.4.2	三轴压缩试验	166
6.4.3	无侧限抗压强度试验	170
6.4.4	十字板剪切试验	170
	思考题与习题	173
第七章	土压力理论	175
7.1	概述	175
7.1.1	土压力的分布	175
7.1.2	土压力类型	176
7.1.3	静止土压力计算	178
7.2	朗金土压力理论	179
7.2.1	基本原理	179
7.2.2	水平填土面的朗金土压力	180
7.3	库仑土压力理论	190
7.3.1	基本原理	190
7.3.2	主动土压力	191
7.3.3	被动土压力	195
7.3.4	《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002)推荐公式	195
7.3.5	朗金理论与库仑理论比较	197
7.4	挡土墙设计	198
7.4.1	挡土墙的类型	198
7.4.2	挡土墙的计算	201
7.4.3	重力式挡土墙的构造措施	203
	思考题与习题	206
第八章	土坡稳定分析	209
8.1	土坡稳定分析的意义	209
8.2	无黏性土坡的稳定分析	210
8.2.1	无渗流作用时的无黏性土坡	210
8.2.2	有渗流作用时的无黏性土土坡	211
8.3	黏性土坡的稳定分析	212
8.3.1	简单条分法	214
8.3.2	Bishop 条分法	217

8.3.3 Janbu 条分法	219
思考题与习题	229
第九章 地基承载力	230
9.1 概述	230
9.1.1 地基土的破坏模式	231
9.1.2 影响地基破坏模式的因素	232
9.1.3 地基承载力的确定方法	234
9.2 比例极限与临界荷载	235
9.2.1 地基塑性区边界方程	235
9.2.2 地基的临塑荷载	238
9.2.3 地基的临界荷载	240
9.2.4 临塑荷载及临界荷载计算公式的适用条件	241
9.3 地基极限荷载	241
9.3.1 按极限平衡理论求解极限荷载	242
9.3.2 按假定滑动面确定极限荷载	244
9.3.3 承载力公式的应用问题	263
9.3.4 按原位试验确定地基承载力	266
9.4 规范法确定地基承载力	279
9.4.1 地基容许承载力和地基承载力特征值	279
9.4.2 《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002)确定地基的承载力	279
9.4.3 《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ024-85)确定地基的承载力	281
思考题与习题	287
第十章 土的动力性质和压实性	288
10.1 土在动荷载作用下的变形和强度性质	288
10.1.1 作用于土体的动荷载和土中波	288
10.1.2 土的动力变形特性	289
10.1.3 土的动强度	291
10.1.4 土动力性质试验	292
10.2 砂土和粉土的振动液化	293
10.2.1 土体液化现象及其工程危害	293
10.2.2 液化机理及影响因素	294
10.2.3 土体液化可能性的判别	297
10.2.4 场地液化危害性防治措施	299
10.3 土的压实性	300
10.3.1 土体压实性的工程意义	300
10.3.2 土的击实试验与压实原理	301
10.3.3 压实土的压缩性和强度	304
思考题与习题	305
参考文献	307

绪 论

0.1 土质学与土力学的研究对象及本课程与专业的关系

土质学与土力学是一门研究土及与土的工程有关的问题的学科,它既是工程力学的一个分支学科,又是土木工程学科的一部分。土是一种自然地质历史产物,是一种特殊的变形体材料,它既服从连续介质力学的一般规律,又有其特殊的应力-应变关系和特殊的强度、变形规律,因而形成了土力学不同于一般固体力学的分析方法和计算方法,所以在学习本课程以前必须具备工程地质学、材料力学等预备知识,而土力学的理论与方法又是学习专业课程与从事土木工程技术工作必需的基础知识,是一门介于基础课与专业课之间的技术基础课。

从事道路工程和桥梁工程的技术人员在工程实践中将会遇到大量的与土有关的工程技术问题。在路基工程中,土是修筑路堤的基本材料,同时它又是支承路堤的地基。路堤的临界高度和边坡的取值都与土的抗剪强度指标及土体的稳定性有关。为了获得具有一定强度和良好水稳定性的路基,需要采用碾压的施工方法压实填土,而碾压的质量控制方法正是基于对土的压实特性的研究成果;挡土墙设计的侧向荷载-土压力的取用需借助于土压力理论计算。近年来,我国大量修建高速公路,对路基的沉降计算与控制提出了很高的技术要求,而解决沉降问题需要对土的压缩特性进行深入的研究。

在路面工程中,土基的冻胀与翻浆在我国北方地区是非常突出的问题,防治冻害的有效措施也是以土质学的原理为基础的;稳定土是比较经济的基层材料,它就是根据土的物理化学性质提出的一种土质改良措施,目前深层搅拌水泥土桩在公路的软基处理中就得到了广泛应用。道路一般在车辆的重复荷载作用下工作,因此需要研究土在重复荷载作用下的变形特性,而抗震设计更需要研究土的动力特性。

在桥梁工程中,基础工程常常是能否在预选桥址建桥的技术关键,基础工程的造价占总造价的比例很大,经济、合理的桥梁基础设计需要依靠土力学基本理论的支持;对于超静定的大跨度桥跨结构,基础的沉降、倾斜或水平位移是引起结构过大次应力的重要因素;在软土地区高速公路建设中的“桥头跳车”是影响工程质量的技术难题,解决这一难题的技术关键在于如何处理好桥墩与高路堤之间的沉降差,这涉及桩基和高路堤的沉降计算与控制、填土的碾压质量控制以及软基的加固处理等问题。由此可见,土质学与土力学这门课程与专业课的学习和今后的技术工作有着非常密切的关系,学习这门课程是为了更好地学好专业课,也是为了今后更好地解决有关土的工程技术问题。

0.2 土质学与土力学的概念及发展简史

土质学与土力学是将土作为建筑物的地基、材料或介质来研究的一门学科,主要研究土的工程性质及其形成与变化机制,土在荷载作用下的应力、变形、强度和稳定等问题,为设计与施工提供土的工程性质指标与评价方法、土的工程问题的分析计算原理,是土木工程专业的重要技术基础课。

土质学(science of ground soil)是从工程地质学范畴发展起来的,它从土的成因与成分出发,研究土的工程性质的本质与机理。对土在荷载、温度及湿度等因素作用下发生的变化做出数量上的评价,并根据土的强度、变形机理提出改良土质的有效途径。

土力学(soil mechanics)是从工程力学范畴发展起来的,它把土作为物理-力学系统,根据土的应力-应变-强度关系提出力学计算模型,用数学力学方法求解土在各种条件下的应力分布、变形以及土压力、地基承载力与土坡稳定等课题。同时根据土的实际情况评价各种力学计算方法的可靠性与适用条件。

土质学和土力学是两门关系非常密切的学科,在发展过程中互相渗透、互相结合、相互推动,在工程学科范围内,把土的微观与亚微观结构的研究和土的应力-应变-强度关系的研究结合起来,把土的变形、强度机理和土的工程性质指标结合起来,进一步说明力学现象的本质,为近代计算技术在土力学中的应用提供比较符合实际的计算模型,以解决比较复杂的工程问题。从工程的要求出发,将土质学和土力学紧密结合起来学习将更有助于从总体上把握土的工程性质和土工问题的分析计算方法,有利于定性分析和定量计算的结合,从而更全面地理解和掌握土的工程问题的特点。

土力学始于 18 世纪,有关土力学的第一个理论是 1773 年由库仑(Coulomb)建立并由莫尔(Mohr)发展的土的 Mohr-Coulomb 强度理论,为土压力、地基承载力和土坡稳定分析奠定了基础。1776 年,Coulomb 提出了建立在滑动土楔平衡条件分析基础上的土压力理论;1857 年,Rankine 提出了建立在土体的极限平衡条件分析基础上的土压力理论;1856 年,Darcy 通过室内试验建立了有孔介质中水的渗透理论;Boussinesq(1885)和 Flamant(1892)分别提出了均匀的、各向同性的半无限体表面在竖直集中力和线荷载作用下的位移和应力分布理论。这些早期的著名理论奠定了土力学的基础。20 世纪初,土力学继续取得进展,Prandtl 根据塑性平衡的原理,研究了坚硬物体压入较软的、均匀的、各向同性材料的过程,导出了著名的极限承载力公式。在这基础上,Terzaghi、Meyerhof、Vesic 和 Hansen 等分别进行了修正、补充和发展,提出了各种地基极限承载力公式;Fellenius 提出了著名的瑞典圆弧法以分析土坡的稳定性;特别是 Terzaghi 建立了饱和土的有效应力原理和一维固结理论,Biot 建立了土骨架压缩和渗透耦合理论,为近代土力学的发展提供了理论依据。Terzaghi 在 1925 年发表的《土力学》是最早系统论述土力学体系的著作,也是土力学形成一门独立学科的标志。20 世纪中叶,Terzaghi 的《理论土力学》以及 Terzaghi 和 Peck 合著的《工程实用土力学》是对土力学的全面总结。

早期土质学的著作如 Дрикловский 的《土质学》和 Денисов 的《黏性土的工程性质》系统地论述了土质学的基本原理,对我国有很大的影响,近代的著作如黄文熙的《土的工程性质》和 Mitchell 的“Fundamentals of Soil Behavior”代表了从两个不同的角度深入研究土的工程性质所达到的新水平。将土质学和土力学结合在一起的教材,有 20 世纪 50 年代 Бабков 的“Основы Урунтоведений Имеханики”与 60 年代俞调梅的《土质学及土力学》。在土力学的教学中,特别强调应当重视对土的基本性质的认识和土工试验,并将黏性土的物理化学性质的内容列入教材,从而形成了土力学的教学与土的工程特性的教学紧密结合的教材体系。

0.3 土质学与土力学的学习内容

本书根据道路、桥梁等专业的教学要求,并兼顾扩大专业面的要求编写,内容包括土

的物理性质及工程分类、土粒骨架与水溶液的相互作用、土中水的运动规律、土中应力计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力理论、土坡稳定分析、地基承载力、土的动力性质和压实性共十章,可分为两部分内容:第一部分是关于土的基本性质的试验、分析以及基本规律的介绍;第二部分是关于土的应力、变形、强度理论及土工问题基本分析方法的内容。

第一章土的物理性质及工程分类主要介绍描述土的物质组成和干湿、疏密状态的指标试验与计算,以及利用土工指标对土进行分类的方法。

第二章土粒骨架与水溶液的相互作用主要讨论土颗粒表面与水的相互作用所引起的一系列物理化学现象及其工程意义。

第三章土中水的运动规律主要研究土的渗透特性和冻结时土中水分的迁移与积聚机理。土中水的存在是土区别于其他材料的重要因素。土中水的渗流、土的渗透破坏、水的浮力以及土的冻胀和翻浆是工程设计与施工必须考虑的问题,也是许多工程事故的主要原因。

第四章土中应力计算主要研究在外荷载作用下,土体应力状态的变化及其实用计算方法。这种应力的变化通常是造成土体变形或强度破坏的内在原因,在沉降计算时则需要计算土中附加应力沿深度的变化。这一章为后面几章的学习提供关于应力分布的基础知识和计算附加应力的方法。

第五章土的压缩性与沉降计算主要介绍压缩性指标的试验方法和建筑物沉降计算方法。沉降的计算与控制是地基基础设计的重要内容,过大的沉降与不均匀沉降常常是影响工程安全与正常使用的主要原因。此外,还介绍了分析沉降与时间关系的饱和土固结理论。

第六章土的抗剪强度主要讨论土的极限平衡理论、土的抗剪强度指标的试验方法与指标的工程应用。土的抗剪强度是土力学的重要课题之一,包括地基承载力、土压力和边坡稳定在内的土体稳定性验算都需要正确地测定与正确应用土的抗剪强度指标。

第七章土压力理论主要讨论静止、主动与被动土压力的基本概念、朗金土压力理论和库仑土压力理论的基本原理及实用计算方法,特别在各种特殊条件下土压力的计算方法。

第八章土坡稳定分析主要介绍均质土和层状土的土坡稳定分析的几种实用方法,讨论在各种工程条件下土坡稳定计算需要考虑的一些特殊问题。

第九章地基承载力主要讨论地基破坏的三种模式,介绍地基临界荷载和极限荷载理论公式的基本概念和实用计算表达式,同时还介绍了规范给出的确定地基容许承载力的实用经验方法。

第十章土的动力特性和压实性讨论了土的动强度、动模量的基本概念与试验方法,介绍饱和粉细砂和粉土的液化机理与液化判别方法,讨论了填土压实控制的原理与压实性指标的工程应用。

0.4 两个典型案例

(1) 加拿大特朗斯康谷仓

加拿大特朗斯康谷仓(图 0.1)平面呈矩形,南北向长 59.4m,东西向宽 23.5m,谷仓

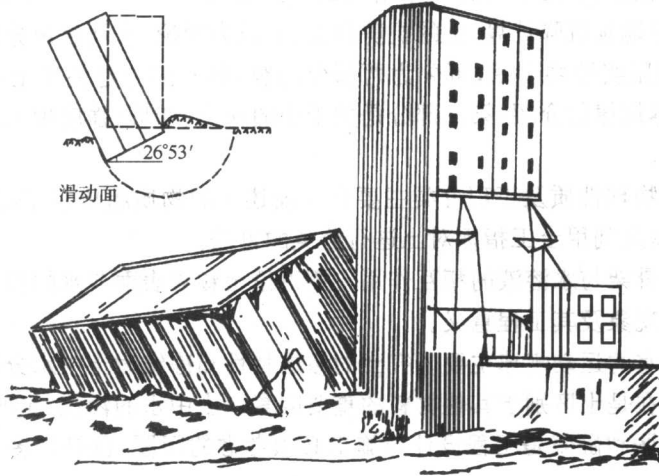


图 0.1 加拿大特朗斯康谷仓地基破坏示意图

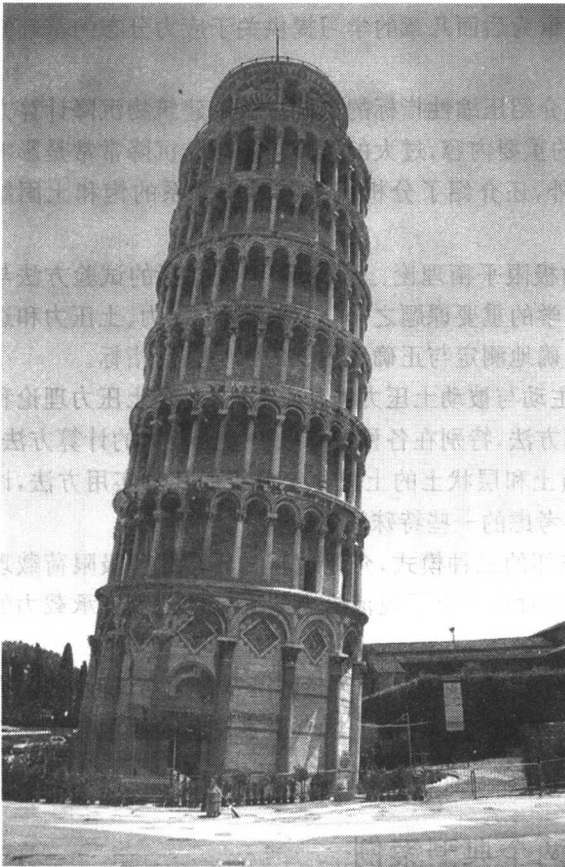


图 0.2 意大利比萨斜塔倾斜照片

高 31m, 容积 $36\,368\text{m}^3$, 由 5 排共计 65 个圆筒形的筒仓组成。基础为钢筋混凝土筏板, 厚 0.6m, 埋深 3.66m。粮仓于 1911 年动工, 1913 年秋完工, 谷仓自重 200MN, 相当于装满谷物后满载总重量的 42.5%。当年 10 月装谷子约 $32\,000\text{m}^3$ 时, 发现谷仓 1h 内下沉 30cm, 没有引起重视, 任其发展, 24h 之内, 谷仓西端下沉 7.3m, 东端抬升 1.5m, 整个谷仓倾斜 27° 。这是历史上少数几个发生地基整体失稳的著名案例之一。

(2) 意大利比萨斜塔

闻名世界的意大利比萨斜塔 (图 0.2) 始建于 1173 年, 至 1370 年最终竣工, 历经近 200 年, 其间几度中断又几度复工。塔身呈圆筒形, 共 8 层, 高 55m, 全塔总重量约为 145MN。塔身建立在深厚的高压缩性土之上, 地基的不均匀沉降导致塔身发生倾斜, 塔顶偏离塔心垂线的水平距离达 5.27m, 倾斜达 93‰, 高于我国地基基础规范允许值 18 倍多, 已暂时停止向游人开放, 是典型的地基不均匀沉降引起建筑物倾斜的著名案例。

第一章 土的物理性质和工程分类

1.1 土的形成与特性

1.1.1 土的形成

土(soil)是由自然界中的岩石在各种风化作用下,经过破碎、分解和化学变化变成各种碎屑,再经过搬运作用和沉积作用,使这些碎屑在一定的自然环境中沉积下来,形成了由大大小小的土颗粒组成的颗粒集合体,这些颗粒的集合体中间贯穿了大大小小的孔隙,孔隙中又多多少少充填了一定量的水分,而颗粒之间的连接一般较为微弱,这种由固体颗粒、液态水和孔隙中的气体组成的三相体系就是土。

在自然界中,在不同自然环境中形成的土所经历的过程是不同的,因此土所具有的成分和性质也有不同,因此常说土的成因决定了土的物质成分、结构构造和性质。所以人们十分重视对土的成因的研究。按照土的成因的不同,自然界中的土有残积土、坡积土、洪积土、冲积土、风积土、冰积土等各种类型,这些不同成因类型土的成分特点和性质可参见有关工程地质学方面的书籍。

风化作用按其性质可以分为物理风化(physical weathering)、化学风化(chemical weathering)、生物风化(biological weathering)三种类型。

(1) 物理风化

岩石只发生机械的破坏,而其化学成分不改变的风化称为物理风化。如季节变化、日夜交替导致的温度变化,促使岩石频繁地膨胀收缩,岩石一般由多种矿物组成,热膨胀系数的不同必然造成岩石的崩解破坏;另外,岩隙中的水的冻融,也会造成岩石崩解。

(2) 化学风化

岩石在水、氧气、二氧化碳等化学物质的作用下,发生化学分解,不仅结构被破坏,而且化学成分发生改变,这一过程称为化学风化。化学风化有氧化、水化、水解、溶解、碳酸盐化等作用类型。如石灰岩中的碳酸钙在碳酸盐化后溶于水的重碳酸钙被水带走,使石灰岩形成溶洞等。

(3) 生物风化

由生物活动对岩石造成的破坏称为生物风化。其中包括机械的破坏及化学的破坏。

在自然界中,岩石的风化作用一般是相互联系、同时并存的,在不同的时间和地点,不同风化作用所处的地位也不同,有主次之分。岩石风化后其强度会显著降低。

1.1.2 土的特性

从以上土的形成和组成情况可以看出,与一般建筑材料相比,土具有以下特点:

(1) 松散性

土颗粒之间无联结或仅有微弱的联结,因此土颗粒之间可以相互移位,土常呈松

散状。

(2) 易变性

土的性质不十分稳定,很容易随外界条件和因素的变化而发生改变,如当下雨使土的含水量增大以后,土可以从较坚硬的固态变成流态;当冬天大气温度低于零度、土中水分结冰、土变成冻土以后,土又变得十分坚硬。

(3) 透水性

土颗粒之间充满了孔隙,这些孔隙彼此连通,使得水可以透过土体在土中流动,因此土具有透水性。土的透水性往往给地下水位以下基础工程的施工造成麻烦,因此工程中对土的透水性性质十分关注。

(4) 强度低

土是颗粒的集合体,颗粒之间的联系非常弱。因此,与一般建筑材料比,土的强度通常是很低的。

(5) 变形大

由于土中存在着大量的孔隙,当土在受到外力作用后,土颗粒相互之间可以排列得更加紧密,土中的孔隙得以缩小,土同时发生较大的变形。如用力学中的模量表示土的变形性能,土的模量一般只有几至几十兆帕,而混凝土的模量一般可达几万兆帕。

1.2 土的物质成分

土是由固体颗粒、液态水及气体组成的三相体系。土中的固体矿物颗粒构成骨架,骨架之间贯穿着孔隙,孔隙中充填着水和空气。土中的水分、气体都会对土的性质产生重要影响,因此通常把土中的水分、气体均作为土的物质成分来研究。

在认识和研究土的物质成分时,应注意以下几点:

1) 在土的三相组成中,固体颗粒是三相体系中的主体和核心,构成了土的骨架,对土的工程性质起着决定性作用。

2) 土中的水分、气体,对土的工程性质起着重要的影响作用。

3) 组成土的三个相之间,不是机械的、彼此孤立的组合在一起,而是在三相之间会发生复杂的物理、化学作用,从而对土的性质产生重要影响。

4) 当土的固体颗粒的大小、形状和在空间的排列联结方式不同时,土也会呈现出不同的性质,因此还要对固体颗粒的大小、形状和在空间的排列联结方式,即土的结构进行研究。

以下分别从组成土的固体颗粒、土中水和气体等方面分别加以介绍,有关土的结构构造的内容将在 1.3 节介绍。

1.2.1 土中固体颗粒

1. 粒径、粒组及粒组的划分

土中的固体颗粒大小,各不相同。颗粒的大小通常以其直径表示,称为粒径,常以毫米单位度量。当颗粒的粒径由大到小发生变化时,颗粒的成分和性质也会发生有规律的

变化,而且这种变化符合自然界中从量变到质变的规律,即当土颗粒的粒径在一定范围内变化时,土粒具有相似的成分和性质,而当粒径变化超过某一数值时,颗粒的成分和性质就会发生明显的突变。根据这一现象,我们把粒径大小在一定区段内、具有相同或相似的成分和性质的土粒集合称为粒组。

粒组的划分要能反映上述量变质变的基本规律。经过长期的研究和工程实践,人们对于使土粒成分、性质发生明显变化的质变点粒径已经有了基本的认识。人们就是根据这些质变点粒径将自然界中的颗粒划分为若干个粒组。

目前土的粒组划分方法并不完全一致,表 1.1 提供的是一种常用的土粒粒组的划分方法,表中根据界限粒径 200mm、60mm、2mm、0.075mm 和 0.005mm 把土粒分为六大粒组:漂石(块石)、卵石(碎石)、圆砾(角砾)、砂粒、粉粒及黏粒。

表 1.1 土粒粒组的划分

粒组统称	粒组名称	粒径范围/mm	一般特征	
巨粒	漂石或块石颗粒	>200	透水性很大,无黏性,无毛细水	
	卵石或碎石颗粒	200~60		
粗粒	圆砾或角砾颗粒	粗	60~20	透水性大,无黏性,毛细水上升高度不超过粒径大小
		中	20~5	
		细	5~2	
	砂粒	粗	2~0.5	易透水,当混入云母等杂质时透水性减小,而压缩性增加;无黏性,遇水不膨胀,干燥时松散;毛细水上升高度不大,随粒径变小而增大
		中	0.5~0.25	
		细	0.25~0.075	
细粒	粉粒	0.075~0.005	透水性小,湿时稍有黏性,遇水膨胀小,干时稍有收缩;毛细水上升高度较大较快,极易出现冻胀现象	
	黏粒	<0.005	透水性很小,湿时有黏性、可塑性,遇水膨胀大,干时收缩显著;毛细水上升高度大,但速度较慢	

注:1) 漂石、卵石和圆砾颗粒均呈一定的磨圆形状(圆形或亚圆形);块石、碎石和角砾颗粒都带有棱角。

2) 粉粒或称粉土粒,粉粒的粒径上限 0.075mm 相当于 200 号筛的孔径。

3) 黏粒或称黏土粒,黏粒的粒径上限也有采用 0.002mm 为标准的。

2. 土的粒度成分

土常常是由不同粒组的土粒混合在一起形成的混合物,而土的性质主要取决于不同粒组的土粒的相对含量。土的粒度成分(mechanical composition, 又称级配)是指大小土粒的搭配情况,通常以土中各个粒组的土粒所占的相对百分含量来表示。为了了解各粒组的相对百分含量,需要进行粒度分析。根据土粒大小的不同,粒度分析时采用不同的方法:对于大于 0.075mm 的颗粒采用筛分法,对于小于 0.075mm 的颗粒采用静水沉降法(具体有比重计法、移液管法)。

《土的分类标准》(GBJ145-90)规定:筛分法适用于粒径在 60~0.075mm 的土。试验时,将风干的均匀土样放入一套孔径不同的标准筛(图 1.1),标准筛的孔径依次为 60mm、40mm、20mm、10mm、5mm、2mm、1.0mm、0.5mm、0.25mm、0.1mm、0.075mm,经筛析机上、下振动,将土粒分开,称出留在每个筛上的土重,即可求出留在每个筛上土重的相对